



Verbreiding basis onder autonome navigatie en finetuning van een autonome spuitmachine

Corné Kempenaar, Ard Nieuwenhuizen, Ben Verwijs

© 2013 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Plant Research International. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Plant Research International, Agrosysteemkunde.

DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.



PPL-Project: Verbreding basis onder autonome navigatie (135) en Finetuning autonome spuitmachine (129)
Opdrachtgever: Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie

Projectnummer PRI: 3310398508 en 3310398509

Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR Business Unit Agrosysteemkunde

Adres : Postbus 616, 6700 AA Wageningen
: Wageningen Campus, Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
Tel. : 0317 – 48 04 98
Fax : 0317 – 41 80 94
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.wageningenUR/nl/pri

Inhoudsopgave

	pagina
Samenvatting	1
1. Inleiding	3
2. Testen en aanpassen van een prototype	5
2.1 Verbreding basis onder autonome navigatie – de autonome New Holland Boomer 3050	6
2.1.1 Uitgangssituatie	6
2.1.2 Stappen in de tijd	9
2.1.3 Stand van zaken nu	14
2.1.4 Conclusie	15
2.2 Verbreding basis onder autonome navigatie – de autonome Kubota RTV	15
2.2.1 Uitgangssituatie	15
2.2.2 Stappen in de tijd	16
2.2.3 Conclusie en stand van zaken	20
2.3 Finetuning autonome spuitmachine	20
2.3.1 Uitgangssituatie seizoen 2012	20
2.3.2 Stappen in de tijd naar seizoen 2013	21
2.3.3 Stand van zaken voor seizoen 2013	24
2.3.4 Conclusie	25
3. Conclusie	27
Literatuur	29

Samenvatting

In 2010 is door een groep aardbeientelers, de importeur van Hardi spuitmachines in Nederland en door onderzoeksinstituut PRI van Wageningen-UR een project gestart voor het ontwikkelen van een autonoom voertuig met daaraan gebouwd een spuitmachine die alleen spuit waar aardbeiplanten staan. Met de inzet van een autonoom voertuig kan de inzet van arbeid beperkt worden, met name bij het herhaald in de tijd toedienen van gewasbeschermingsmiddelen. Met de ontwikkeling van de precisiespuitmachine wordt beoogd om, in combinatie met het autonome voertuig, met zo min mogelijk belasting voor het milieu toch een effectieve gewasbescherming te realiseren.

Het project is gestart in 2010 en loopt door tot en met 2014. In 2010 is het programma van eisen opgesteld waarin onder andere de vereisten voor het nauwkeurig laten rijden en veiligheidseisen van het voertuig zijn opgenomen en de eisen waaraan moet worden voldaan voor een goede gewasbescherming. In 2011 en 2012 is een prototype van de combinatie van autonoom voertuig en spuitmachine gebouwd. Het autonome voertuig is een Boomer 3050, een 37,3 kW (51 pk) compact tractor van New Holland. De spuitmachine is een Hardi SensiSpray Horti met een spuitboom van 3 secties van 1,5 m elk (totale werkbreedte 4.5 meter), luchtondersteuning bij het spuiten en een tankinhoud van 400 liter.

Voor het autonoom laten rijden van de trekker/spuitcombinatie zijn verschillende onderdelen toegevoegd. Voor het sturen een stuurhoeksensor, een begrenzer voor de maximale stuuruitslag en een proportionele stuurschuif. Een Tractor Control Unit met onder andere een RTK-DGPS heading receiver, 2 antennes, een GSM-modem en een user interface is gebouwd voor het zelfstandig rijden. Een correctiesignaal voor RTK-GPS wordt verkregen via mobiel internet.

Zodra de spuitcombinatie op het veld is aangekomen en het besturingssysteem is opgestart, kan de autonome modus ingeschakeld worden en het rijden geactiveerd worden met een afstandsbediening. Met de afstandsbediening en met knoppen die aan de voorzijde van de trekker zijn gemonteerd, kan een noodstop gemaakt worden in geval er een calamiteit is. Of de machine bij stilstand veilig is te benaderen wordt aangegeven met statuslampen die bovenop de trekker en spuit zijn gemonteerd.

De spuitmachine SensiSpray Horti is voorzien van GreenSeeker® sensoren en VarioSelect® dophouders waarmee gewasafhankelijk kan worden gespoten. Met behulp van rekenregels wordt bepaald met welke (combinatie van) dop(pen) wordt gespoten om de juiste hoeveelheid middel op de juiste plaats te krijgen.

Tijdens het testen van het prototype in 2012 kon niet voldaan worden aan de vereiste nauwkeurigheid van rijden. Afwijkingen werden geconstateerd van + en – 40 cm ten opzichte van het rechte pad en tijdens het maken van bochten op de kopakker. In de testfase was het niet mogelijk om voldoende betrouwbaar een routing te plannen en deze routing geheel autonoom door de trekker/spuitcombinatie af te laten leggen. Bij de spuitmachine werd het spuitproces, naast het elektronisch wel of niet activeren van de GreenSeeker® sensoren en de VarioSelect® dophouders, geactiveerd door het aan en uitzetten van de aftakas. De tankinhoud werd alleen geroerd wanneer het spuitproces geactiveerd was. Dit gaat in tegen een goede landbouwkundige inzet van gewasbeschermingsmiddelen. Uit onderzoek wat in 2012 is uitgevoerd blijkt dat het spuiten met de combinatie van de GreenSeeker® sensoren en de VarioSelect® dophouders en de geïnstalleerde rekenregels wel werd uitgevoerd volgens het programma van eisen. Omdat er geen zicht was dat de door de telers aangegeven tekortkomingen voor het teeltseizoen van 2013 zouden zijn verholpen, is in de testfase besloten niet verder in te zetten op het optimaliseren en verbeteren van het geïnstalleerde besturingssysteem op basis van routeplanning. De keuze is gemaakt om vanaf 2013 om over te stappen op een teach & playback systeem.

Het teach & playback systeem wordt reeds ingezet bij het maaien van golfbanen. Hierbij wordt door een bestuurder het systeem geleerd hoe er over het veld gereden moet worden en welke handelingen met een aangekoppelde machine wanneer gedaan moeten worden. In dit project welke handelingen gedaan worden voor de bediening van de spuitmachine. Begin 2013 zijn een aantal componenten van het autonome systeem uit seizoen 2011/2012 vervangen door componenten die voldoen aan de voor het teach & playback systeem gestelde eisen. Daarnaast is het besturingssysteem gewijzigd en zijn enkele componenten toegevoegd.

De resultaten van de testen van het teach & playback systeem laten zien dat er met een maximale afwijking van plus en min 4,5 cm ten opzichte van de in 'teach mode' aangeleerde rijinstructie gereden kan worden. Door een

gewijzigde aansturing van de spuitmachine kan het middel in de tank nu constant geroerd worden. De rekenregels voor de activeren van de VarioSelect® spuitdoppen zijn niet gewijzigd.

Eind 2012 is, in het verlengde van de autonome aardbeienspuit, binnen het PPL project een aanvraag ingediend voor het autonoom laten rijden van een universeel voertuig. Dit voertuig wordt ingezet bij het bemonsteren van landbouwpercelen met een EM38 sensor. Aan de hand van de met deze sensor verkregen data kan meer precies een bemesting of andere activiteit uitgevoerd die afhankelijk is van de bodemomstandigheden. Voor het verkrijgen van de juiste data moet het voertuig hierbij vooraf geplande paden met een onderlinge afstand van 5 meter volgen waarbij de EM38 sensor wordt voortgetrokken. Voor de besturing en aansturing van het voertuig zijn vrijwel identieke onderdelen gebruikt als bij de Boomer 3050 autonome trekker. De geplande paden en de route worden vooraf berekend aan de hand van de contouren van het perceel die met behulp van de GPS apparatuur op het universele voertuig zijn opgenomen. In de testfase is de gewenste werkwijze doorlopen. Het programma kan vooraf op perceel niveau berekenen waar het voertuig moet rijden. Aan de door het voertuig gevolgde GPS data wordt de meetdata gekoppeld van de EM38 sensor. Hiermee zijn voldoende nauwkeurige bodemkaarten te genereren waarmee, in het kader van de bij PPL ingediende aanvraag, een plaatsspecifieke bemesting en berekening uitgevoerd kan worden.

1. Inleiding

Op initiatief van een groep aardbeientelers in West Brabant, Homburg Holland uit Stiens en Wageningen UR – PRI is een project gestart voor de ontwikkeling van een autonome precisiespuit in de aardbeienteelt. Met het systeem moet in de teelt van aardbeien op een autonome wijze zo nauwkeurig mogelijk en met zo min mogelijke belasting van het milieu, gewasbeschermingsmiddelen toegediend kunnen worden. Het doel van het ontwikkelen van een autonoom voertuig in dit project is het beperken van de inzet van arbeid tijdens het herhaald in de tijd uitvoeren van eenzelfde routing en bespuiting over het veld. Voor het in vier fasen opgebouwd traject is door de partners in deze publiek private samenwerking een ontwikkeltraject opgezet. Het project loopt door tot en met 2014.

In de ontwerpfase van het traject zijn de wensen en eisen aan de technische kant van het autonome voertuig en de precisiespuit geformuleerd (Kempenaar, 2012). Hierbij is onder andere rekening gehouden met het milieu, bodemomstandigheden en arbeidsomstandigheden. De bouw van het prototype (fase 2 van het project) heeft plaatsgevonden in de periode 2011 en 2012 (Kempenaar, 2012). Naar aanleiding van de bouw van het prototype zijn verbeterpunten opgesteld. Deze verbeterpunten zijn in fase 3 verwerkt in het prototype en vervolgens getest. Het demonstren en verspreiden van de kennis wordt uitgevoerd in fase 4.

Dit verslag is het resultaat van de werkzaamheden die zijn uitgevoerd in het ontwikkelverzoek voor “Verbreding basis onder autonome navigatie” en het ontwikkelverzoek “Finetuning van een autonome spuitmachine”. Beide ontwikkelverzoeken bevinden zich in fase 3 van het project. Het onderdeel “Verbreding basis onder autonome navigatie” is tot stand gekomen nadat door de 5 aardbeientelers uit West Brabant is geconstateerd dat de nauwkeurigheid van het navigeren van de autonome trekker/precisie spuitcombinatie onvoldoende is ten opzichte van de gestelde eisen in de eerste fase van het project. Om wel een gewenst resultaat te bereiken dient de hard- en software aangepast te worden. Door de aanpassing kan de nauwkeurigheid van rijden over het perceel teruggebracht worden van +/- 40 cm naar maximaal +/- 5 cm. Deze nauwkeurigheid wordt zowel op het rechte pad tussen de bedden met aardbeien als op de kopakkers gewenst. Om de nauwkeurigheid van +/- 5 cm te bereiken werd in het project nagegaan of de techniek die in de periode 2011/2012 is opgebouwd, vervangen kon worden door een Teach & Playback besturingssysteem.

Voor aanvang van deze fase 3 heeft zich ook een PPL initiatiefnemer gemeld die een toepassing heeft voor het implementeren en testen van het Teach & Playback besturingssysteem. Het systeem zal worden ingezet voor het op een precieze wijze autonoom verzamelen van bodemeigenschappen. Het meten van bodemeigenschappen kan met diverse methoden gedaan worden. Voor elke methode is aparte apparatuur voorhanden. Elke methode heeft zijn voor- en nadelen, vereist de benodigde kennis of dient geïnterpreteerd te worden in combinatie met een andere methode. Een combinatie van methoden is het meten van de elektrische geleidbaarheid die bodems van nature bezitten en het handmatig maken van een bodemprofiel met behulp van een grondboor. Met de methode kan men de variatie binnen een perceel in kaart brengen om op basis van deze gegevens meer plaats specifiek te kunnen werken voor bijvoorbeeld het bemesten en beregenen.

De geleidbaarheid wordt gemeten met een zender en een ontvanger die, horizontaal gezien, circa een meter uit elkaar geplaatst zijn. Het apparaat, een EM38 (Electromagnetic Meter) wordt over het veld heen getrokken. Tijdens deze actie worden ook de GPS coördinaten van het apparaat vastgelegd waardoor nadien een plaats specifieke bodemkaart gemaakt kan worden. Door commerciële bedrijven worden per hectare ongeveer 600 metingen gedaan wat betekend 1 meting op ruim 16 m². Verticaal gezien wordt de bodem gescand tot een diepte van 100 cm onder maaiveld.

Het verzamelen van de elektromagnetische bodemgegevens als het handmatig samenstellen van een bodemprofiel is een eenmalige activiteit op elk perceel. Wanneer het voertuig met de elektromagnetische meter autonoom over het veld kan rijden, kan door de operator gelijktijdig op hetzelfde perceel handmatig bodemprofiel metingen uitgevoerd worden.

Voor de finetuning van de autonome spuitmachine zal het prototype van de autonome spuit aangepast worden aan het voortschrijdend inzicht ten opzichte van de situatie bij aanvang van het project. Voor het eventueel aanpassing van beslisregels van het aansturen van de doppen, zijn de uitkomsten van het depositieonderzoek geanalyseerd. Bij het aanpassen van het prototype komen aan de orde de communicatie en aansturing van de autonome trekker met

de spuitmachine op basis van GPS, de aansturing van de sensor gestuurde spuit en het visualiseren van de resultaten van het spuiten waarbij de aandacht wordt gefocust op de uiteindelijk toegediende hoeveelheid gewasbeschermingsmiddel.

2. Testen en aanpassen van een prototype

De fasen 1 en 2 van het project “Ontwikkeling van een autonome precisiespuit voor de aardbeienteelten in de volle grond” is afgesloten. Aan het eind van dit project is een prototype van een autonoom voertuig New Holland Boomer 3050 met een Hardi SensiSpray Horti precisiespuitmachine opgeleverd (Figuur 1). Tijdens het testen door het consortium van aardbeientelers bleek dat er niet precies genoeg tussen de bedden aardbeien gereden kan worden. Afwijkingen werden geconstateerd van +/- 40 cm ten opzichte van het rechte spoor. Ook bleek dat het navigeren van het ene naar het andere spuitspoor onvoldoende betrouwbaar was zonder tussenkomst van handmatig ingrijpen door de bestuurder. Deze situaties hebben er toe geleid dat er geen vertrouwen was om binnen afzienbare tijd van een eindresultaat te bereiken wat overeenkomt met de in het project gesteld doelen.



Figuur 1. New Holland Boomer 3050 autonome trekker met Hardi SensiSpray Horti spuitmachine.

Besloten is om in fase 3 (start medio 2012) van het project aan de New Holland Boomer een aanpassing te doen aan de nodige hardware en een geheel andere structuur aan besturingssysteem op te zetten voor het autonoom kunnen laten rijden van de trekker/spuitcombinatie. Het nieuw te implementeren besturingssysteem is gebaseerd op het teach & playback systeem wat reeds enige jaren wordt gebruikt bij het maaien van golfbanen. Hierbij wordt door een operator op de ‘standaard’ wijze een green gemaaid waarmee het systeem wordt geleerd hoe er gereden moet worden en welke aanvullende functies er, naast de rijfunctie, geactiveerd worden. In paragraaf 3.1 wordt besproken welke veranderingen aan hard- en software zijn doorgevoerd aan de Boomer 3050.

Voor het autonoom opnemen van bodemeigenschappen is een aanvraag gedaan voor implementatie van het teach & playback besturingssysteem op een Kubota RTV900 universeel voertuig. Met de Kubota wordt een EM38 sensor over het veld getrokken. Gelogde data van de EM38 sensor wordt gekoppeld aan de GPS data. Met de verkregen meetgegevens kunnen bodemkaarten gemaakt worden. Om betrouwbare resultaten te krijgen als input voor de bodemkaarten en om gelijktijdig met het verzamelen van de sensorgegevens handmatig de bodembemonstering te kunnen doen, is een nauwkeurig te sturen autonoom voertuig een optie. Welke technische aanpassingen zijn gedaan aan het voertuig en welke software is geïnstalleerd is weergegeven in paragraaf 3.2.

Bij de aan de autonome trekker gekoppelde Hardi SensiSpray Horti spuitmachine is een update uitgevoerd naar aanleiding van de depositiemetingen die hebben plaatsgevonden in het aardbeiseizoen van 2012. Deze update is tevens doorgevoerd naar aanleiding van de inzichten die zijn ontstaan na het opstellen van de programma van eisen aan het begin van het project. Tijdens de aanpassingen van het prototype en het visualiseren van de as applied kaarten zijn nieuwe verbeteringen geformuleerd. Zowel de aanpassingen aan het prototype als de nieuw geformuleerde verbeteringen zijn beschreven in paragraaf 3.3.

2.1 Verbreding basis onder autonome navigatie – de autonome New Holland Boomer 3050

2.1.1 Uitgangssituatie

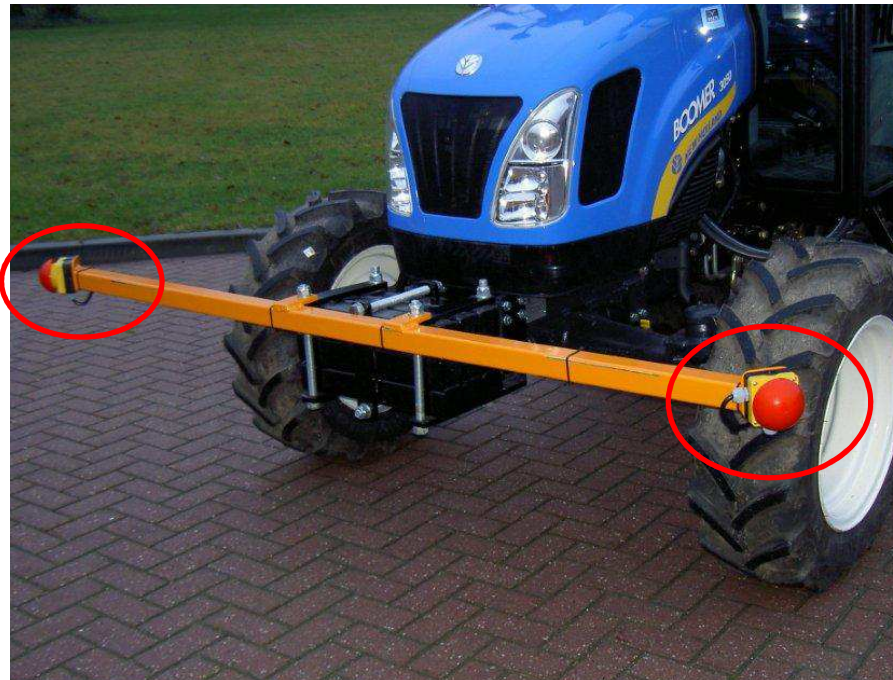
In de eerste fase van het project in 2011 en 2012 is de “Autonome” trekker New Holland Boomer 3050 voorzien van de nodige hardware en software. Aan hardware waren de volgende onderdelen gemonteerd:

- Stuurhoeksensor: De trekker is uitgerust met een standaard elektrisch hydraulisch bestuurd vooras met vast pendelpunt en een draaicirkel met deze as is 6,2 meter. De stuuruitslag van 54 graden wordt bepaald met een stuurhoeksensor (Figuur 2) op de vooras van de trekker.



Figuur 2. Stuurinrichting van de trekker met de opgebouwde stuurhoeksensor en begrenzer voor de stuuruitslag.

- Begrenzer stuuruitslag: Aan de zijkant van de motor is een begrenzer gemonteerd waarmee de maximale stuuruitslag wordt bepaald (Figuur 2).
- Proportionele stuurschuif: om de vooras te sturen is, tussen de standaard voor hydraulische besturing benodigde cilinders en de orbitrol, een proportionele stuurschuif gemonteerd. Deze stuurschuif wordt vanuit de software elektronisch aangestuurd.
- Noodknoppen: in verband met de wetgeving en de verzekering is aan de buitenzijde (voorzijde), zowel links als rechts van de trekker een noodknop gemonteerd (Figuur 3). Naast het gebruik van de afstandsbediening zijn de noodknoppen de enige mogelijkheid om de trekker en spuitmachine stil te zetten. Bij activering van de noodknoppen wordt direct de motor uitgezet en daarmee ook de mechanische en hydraulische aandrijving van de spuitmachine. Er zijn zowel aan de voor- als aan de achterzijde van de trekker of de spuitmachine verder geen (optische) veiligheidsvoorzieningen aangebracht.



Figuur 3. Nood knoppen aan de voorzijde van de trekker.

- Een Tractor Control Unit (Figuur 4) waarin en waarvoor o.a. de volgende onderdelen zijn gemonteerd: RTK-DGPS Heading receiver, dual frequency, incl. Glonass, 2 antenas, een Radio modem WAN 3G dual Dual antenna, een ControlBox (controller and IO) en een user interface (panel PC). Het correctiesignaal voor RTK-GPS wordt verkregen via mobiel internet (abonnement bij MoveRTK inclusief GPRS/UMTS SIM-kaart en beheer van de mobiel internet verbinding door MoveRTK).



Figuur 4. Interieur van de cabine met de besturingskast (Tractor Control Unit) voor de autonome aansturing.

Na opstarten van het autonome concept en het aanvangen van een bespuiting verlaat de bestuurder de trekker. Het activeren en stoppen van autonoom rijden wordt uitgevoerd via de remote control. De status van de werking van het autonome concept wordt aangeduid met signaleringslampen met een geluidsignaal. Afhankelijk van de kleur lamp wordt aangeduid of het veilig is de trekker te benaderen. De lampen zijn aan beide zijden van de trekker net achter de cabine gemonteerd en steken boven de cabine uit voor een goede zichtbaarheid vanuit alle hoeken rondom de combinatie trekker/spuitmachine (Figuur 5). Wanneer een emergency button op de trekker of de emergency button op de remote control wordt geactiveerd, dan wordt de motor van de trekker uitgeschakeld. De trekker staat dan stil en er is geen hydraulisch vermogen meer beschikbaar. Het elektrisch circuit wordt niet uitgeschakeld wanneer de emergency button wordt bediend. Om mogelijke beïnvloeding te voorkomen is het uitschakelen van de motor bij een emergency onafhankelijk van de implementatie van de besturing en in hardware uitgevoerd.

Een emergency situatie kan worden veroorzaakt door de gebruiker door op een noodknop te drukken, maar ook door de software zelf wanneer een onveilige situatie wordt herkend. Bijvoorbeeld wanneer de trekker in een verkeerde zone komt of wanneer het GPS signaal weg zou vallen.

Met signaleringslampen (Figuur 5), die direct achter de cabine zijn aangebracht wordt de status van de werking van het autonome concept aangegeven. Wanneer de groene lamp brandt dan is de trekker-spuit combinatie veilig te benaderen. De signaleringslampen worden ondersteund met een geluidsignaal. Om veiligheidsredenen zijn de signaleringslampen in een zichtsveld van vrijwel 360° rondom de trekker-spuitcombinatie zichtbaar.



Figuur 5. Status lampen voor zichtbaar maken van de werking van de combinatie trekker/spuitmachine.

Alle hiervoor genoemde op of aangebouwde componenten kunnen elektronisch aangestuurd worden en werken (afzonderlijk) naar behoren. De software waarmee de routing bepaald wordt en dus ook voor zorgt dat de componenten op het juiste tijdstip aangestuurd worden werkt echter niet volgens de doelen die gesteld zijn in het project.

2.1.2 Stappen in de tijd

Aan het eind van seizoen 2012 is vastgesteld dat alle benodigde trekkerfuncties op de juiste wijze elektrisch en softwarematig aangestuurd kunnen worden. De aftakas kan op het juiste moment aan/uit geschakeld worden, de versnelling of vertraging van de rijsnelheid kan elektronisch gewijzigd worden en het stuursignaal wordt, zowel bij bochten naar links als naar rechts op de juiste wijze vertaald naar een benodigde stuuruitslag om de uit te komen op de gestelde locatie op het perceel. Echter de gewenste nauwkeurigheid in navigatie en besturing van de autonome trekker kan nog niet behaald worden in een praktijksituatie. Met de programmatuur zover als deze eind 2012 ontwikkeld is kan de routing onvoldoende betrouwbaar uitgevoerd worden. Hierdoor is het niet mogelijk dat het voertuig zelfstandig over het vooraf gekozen perceel de juiste paden gaat volgen om de gewasbescherming daar uit te voeren waar dit noodzakelijk is. Doel van de te schrijven programmatuur was ook dat met het systeem berekend kon worden wat de meest ideale routing zou zijn om op een zo efficiënt mogelijke manier het gewas bespoten kon worden. Deze efficiëntie moet niet alleen bestaan uit het in een zo kort mogelijke tijd bespuiten van het gewas maar ook uit een routing waarbij zo min mogelijk 'loos' over het kopakker gereden moest worden of diverse keren door hetzelfde spoor gereden moet worden om toch het gehele perceel te kunnen behandelen. Onder minder goede bodemomstandigheden kan door het 'loos' rijden of bij meerdere keren door hetzelfde spoor, diepe sporen ontstaan die in de loop van het teeltseizoen nadelig kunnen zijn.

Het nog niet nauwkeurig genoeg kunnen navigeren door het perceel is enerzijds een gevolg van het nog niet (commercieel) beschikbaar zijn van de techniek waarbij de routing over een perceel berekend wordt en daarna deze routing autonome door een trekker over het veld wordt gevolgd. Anderzijds is dit een gevolg van het feit dat meer tijd nodig is om de juiste programmatuur te ontwikkelen.

Om toch het einddoel van het project te kunnen halen – nauwkeurige autonome navigatie - is door het projectteam gekozen om van een techniek gebruik te gaan maken die ook op golfbanen gebruikt wordt. Hierbij wordt met de machine door de chauffeur de te volgen weg afgelegd. De gegevens van het gevolgde pad worden opgeslagen om op een ander tijdstip herhaald te kunnen worden. Zowel de afgelegde weg als de verschillende acties die tijdens het rijden worden uitgevoerd, worden opgeslagen.

Met de keuze van deze 'teach & playback' techniek (Probotiq, 2011) is ook de keuze gemaakt dat van de routing op een perceel waarop de gewasbescherming moet plaatsvinden, eerst door een bestuurder van het voertuig moet worden uitgevoerd. De door de bestuurder van het voertuig gekozen routing kan afwijken van een in de eerder situatie softwarematig bepaalde route. Dit is afhankelijk van zowel de kwaliteit van de software als van het planmatig denken van de bestuurder.

Om de 'teach & playback' techniek te kunnen toepassen is zowel de hardware als de software gewijzigd ten opzichte van de eerder toegepaste techniek. De hardware die vervangen is, voldeed voor de 'teach & playback' techniek niet aan de gestelde technische eisen. De stuurhoeksensor is, omdat de vorige sensor niet nauwkeurig genoeg was, vervangen voor een type vergelijkbaar aan een type wat veel wordt toegepast bij rechtrij systemen (Figuur 6). Met deze sensor is in eerdere projecten goede ervaringen opgedaan.



Figuur 6. Stuurhoeksensor vergelijkbaar aan een Trimble rechtrij systeem.

De snelheid van de Boomer wordt geregeld met een kettingvariator die gecombineerd wordt met een groepenbak met 3 standen. De ideale instelling van de kettingvariator is afhankelijk van de snelheid, motortoerental, vermogen, en wordt ook beïnvloed door input van de bestuurder zoals de stand van het gaspedaal. Bij stevig optrekken wordt gekozen voor het toerental waarbij het maximale koppel van de motor beschikbaar is. Dit maakt dat de versnellingsbak van de Boomer heel lastig te regelen is. Het is een trekker die snel wegtrekt, later ook weer snel vertraagd en waarbij het motortoerental sterk wisselend is. Om toch de snelheid van de trekker goed te kunnen regelen is een snelheidssensor op de uitgaande as van de versnellingsbak/transmissie geplaatst. Softwarematig is geregeld dat de trekker in autonome modus altijd langzaam optrekt om wegsprinten te voorkomen. Bij de eerder toegepaste techniek is, om de vooras te sturen, tussen de stuercilinders en de orbitrol een proportionele stuurschuif gemonteerd. De aansturing van de stuurschuif is gewijzigd naar een aansturing met pulsbreedte modulatie en dithering. Met dithering wordt de stuurschuif constant in beweging gehouden waardoor het heen en terug draaien van de stuuruitslag (schokkerig sturen) wordt voorkomen.

De volgende onderdelen zijn in 2013 toegevoegd: Navigatiecomputer, met daarin GPS ontvanger, CAN bus controller, aansluiting voor de spuitcomputer en GSM modem. Onder de rechter treeplank (Figuur 7) zijn twee modules gemonteerd:

- De bovenste is de 'Safety Control Module', hieraan is de afstandsbediening, de noodstoppen en de brandstof-uitklep gekoppeld.
- De onderste module is de 'Steering & Engine Control Unit', deze stuurt de voorwielen aan via het Trimble proportionele stuurventiel, leest de stuurhoek en druksensor (voor detectie handmatig sturen) in, leest het motortoerental in (via originele toerentalsensor op Boomer) en stuurt via een actuator de gashendel aan.



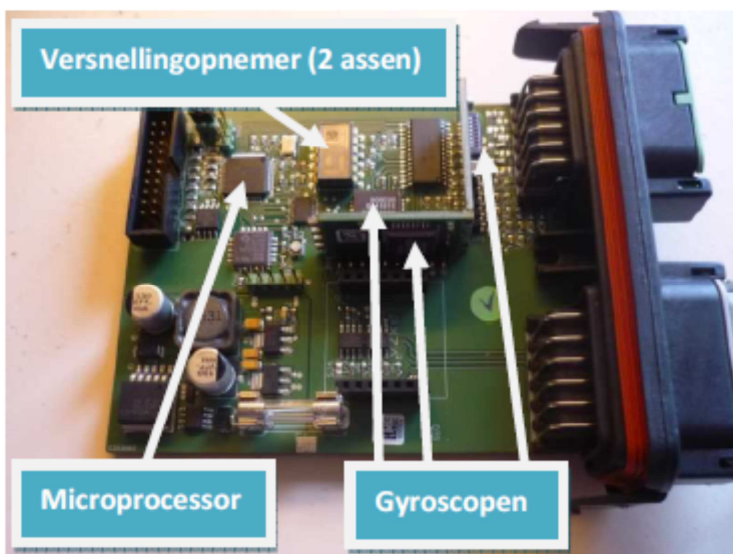
Figuur 7. De Safety Control Module en de Steering&Engine Control Unit onder de rechter treeplank.

Onder de linker treeplank (Figuur 8) is gemonteerd:

- een IMU (Inertial Measurement Unit module;) gemonteerd. Deze unit wordt gebruikt voor de correctie van het GPS signaal wat binnenkomt vanaf de GPS antenne. Deze correctie wordt uitgevoerd middels een nauwkeurige oriëntatiebepaling in het 3 dimensionale vlak waardoor scheefstand in elke richting kan worden gecorrigeerd (Achten, 2012). Scheefstand kan zijn het naar links of rechts overhellen van de trekker t.o.v. een denkbeeldige verticale lijn, het voor of achteroverhellen van de trekker t.o.v. een denkbeeldige verticale lijn en de scheefstand van de trekker t.o.v. een van bovenaf gezien denkbeeldige horizontale lijn. De unit meet 100 keer per seconde nauwkeurig de oriëntatie van de trekker in zowel de richting als de scheefstand.
- De onderste is de 'Tractor Control Module' Deze stuurt de transmissie aan (vooruit/achteruit en rijpedaal) en leest de rijsnelheid in via een sensor op de aandrijfas naar de voorwielen. Ook stuurt deze module de aftakas aan en meet het toerental van de aftakas.



Figuur 8. De Inertial Measurement Unit en de Tractor Control Module onder de linker treeplank.



Figuur 9. IMU met versnellingsopnemer en gyroscoopen voor een optimale schatting van de oriëntatie van de machine

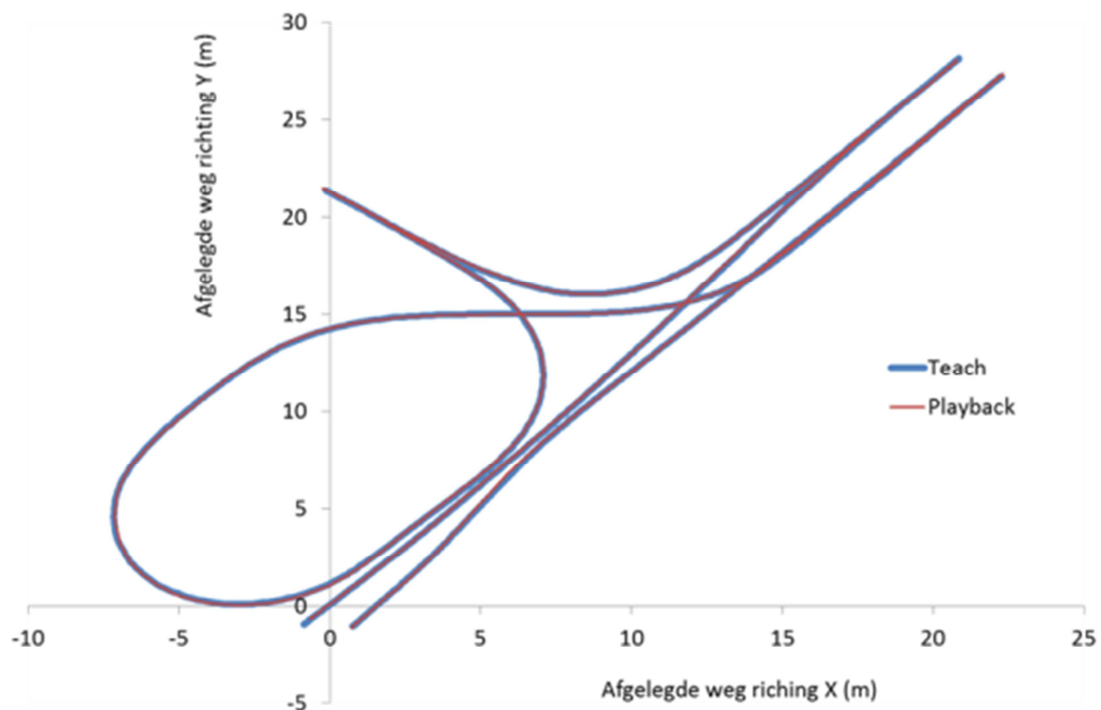
Een hedendaagse veiligheid op (vrijwel) alle trekkers is een ingebouwde stoelschakelaar. Met deze stoelschakelaar wordt voorkomen dat de trekker kan rijden zonder dat er een bestuurder op de bestuurderstoel zit. Als de trekker rijdt en de bestuurder zal opstaan, dan stopt de rijfunctie en, merkafhankelijk, ook de aftakas. Bij het autonoom rijden is geen bestuurder aanwezig en moet deze schakelaar overbrugd worden. Deze overbrugging wordt ook gestuurd door de Tractor Control Module. Zodra de autonoom functie in het besturingssysteem wordt uitgeschakeld, wordt ook de overbruggingsschakelaar uitgeschakeld en komt de trekker niet van zijn plek als er geen bestuurder op de stoel zit.

Van de techniek uit seizoen 2012 zijn wel de noodstoppen, de afstandsbediening en de GPS antennes en ontvanger gebruikt en geïmplementeerd in het teach & playback systeem. De afstandsbediening wordt gebruikt voor het activeren van de rijfunctie, voor het inschakelen van een pauze en als noodstop. Voor het activeren van de rijfunctie dient de trekker zich binnen 20 cm vanaf de route te bevinden en moet binnen 10 graden van de vooraf opgenomen rijrichting staan. Bij opstarten van de computer krijgen alle modules communicatie en wordt het systeem geïnitieerd. Wanneer aan alle voorwaarden is voldaan en de bestuurder heeft de trekker verlaten, kan het rijden gestart worden door de rode knop 5 seconden ingedrukt te houden.

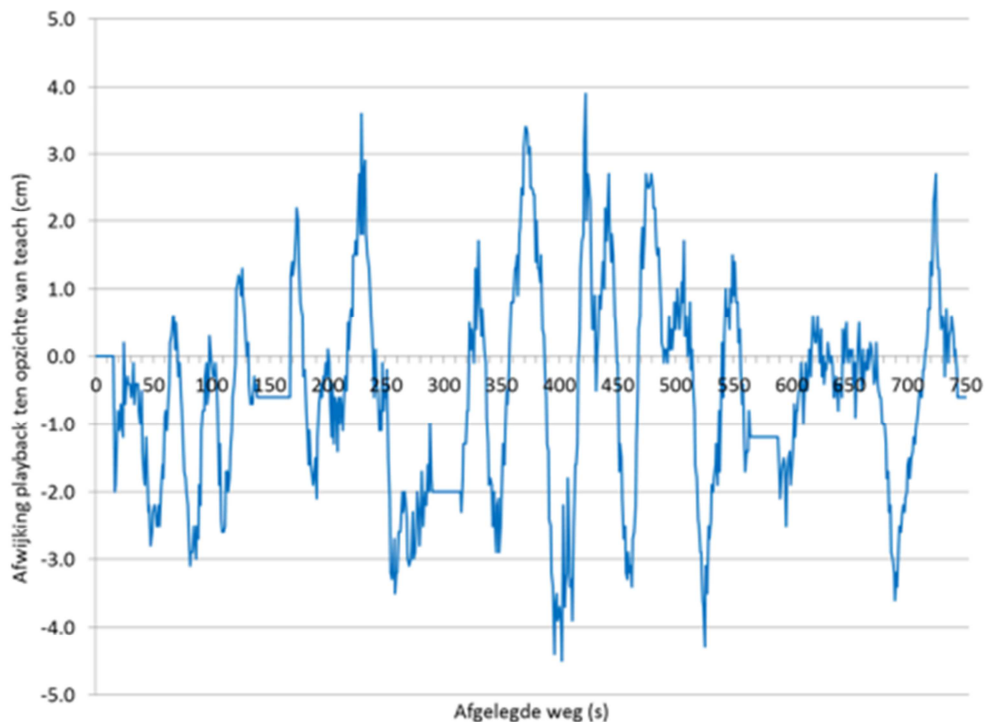
De rode knop op de afstandsbediening wordt ook gebruikt als pauzeknop. Zodra deze wordt geactiveerd, wordt de trekker gecontroleerd stop gezet via de navigatiecomputer. De trekker stopt dan op de route maar de motor blijft wel draaien. Als de aftakas voordien was geactiveerd dan blijft deze ook draaien. Wanneer de pauze weer opgeheven kan worden, dan dient de rode knop 5 seconden ingedrukt te blijven en wordt de route weer vervolgd. De zwarte knop op de afstandsbediening is de harde stop of noodknop. Wanneer deze wordt geactiveerd, wordt de brandstoftoevoer afgesneden en stopt de trekker onmiddellijk. Ook de aftakas en hydraulisch vermogen wordt daarmee stop gezet. De noodknoppen voorop de Boomer veroorzaken ook een harde stop en staat de trekker dus (vrijwel) direct stil.

Nauwkeurigheid

Het teachen voor het autonoom laten rijden van de trekker wordt door de bestuurder uitgevoerd. Wanneer eenmaal opgenomen kan, in theorie, de routing oneindig veel geplaybackt worden. Om gewasschade bij het in- en uitdraaien van de bedden op het kopakker en op het rechte pad te vermijden, dient het teachen met een zekere nauwkeurigheid te gebeuren. Om na te gaan of het aangeleerde ook nauwkeurig wordt nagespeeld, kan vanuit de teach data en de playback data een cross track error (CTE) worden berekend. Dit is de loodrechte afwijking t.o.v. het pad wat eerder is opgenomen. Om de mogelijke afwijking te onderzoeken is een parcours afgelegd (Figuur 10). In het parcours zijn, vooruitrijdend, rechte stukken, bochten en een op een ovaal gelijkende curve opgenomen. Achteruitrijdend zijn rechte stukken en een bocht opgenomen. In Figuur 11 wordt van de afgelegde route de CTE weergegeven. Uit de metingen blijkt dat de afwijking naar links van de vooraf opgenomen data maximaal 4 cm naar links is en naar rechts 4,5 cm.



Figuur 10. Afgelegde route voor het meten van de cross track error.



Figuur 11. Afwijking van de “playback” data ten opzichte van de “teach” data (in cm). De horizontale gedeelten (op 150, 300 en 575 seconden) geven de wisselingen van de rijrichting aan.

2.1.3 Stand van zaken nu

Beveiliging

De huidige beveiliging bestaat uit een software matige beveiliging en het handmatig ingrijpen in een noodsituatie. De software matige beveiliging komt o.a. in werking als het GPS signaal wegvalt of het voertuig buiten een vooraf ingesteld zone terecht komt.

Bij het handmatig ingrijpen wordt de motor van de trekker uit gezet waardoor de rijaandrijving en aandrijving van de spuitmachine wordt stop gezet. Plotselinge obstakels of obstakels die voortijds niet zijn waargenomen door de gebruiker, worden hiermee toch beschadigd raken of overreden worden of kunnen een beschadiging geven aan de trekker en/of de spuitmachine.

Een combinatie van het huidige systeem en een optische beveiliging maakt een handmatig ingrijpen en het ingrijpen in onvoorziene situaties mogelijk. Onvoorziene situaties kunnen bestaan uit het plotseling in het niet veilige gebied komen door personen. Die worden bij het huidige systeem zowel voor als achter de trekker en spuitmachine niet gedetecteerd. De zone aan de voorzijde van de trekker kan gescand worden met behulp van radar en laserscanners om statische en dynamische objecten die afwijken van een regulier aardbeienperceel te herkennen. Tevens is een beeldvormende sensor nodig, die informatie naar de toezichthouder kan versturen zodat op basis daarvan besloten kan worden om wel of niet door te rijden nadat gestopt is voor het object. In de ‘oude’ situatie is geen rijmoment opgenomen waarbij de trekker/spuitcombinatie achteruit zal rijden. In de ‘teach & playback’ situatie kan wel een achteruitrijmoment plaatsvinden. Voor zo’n situatie is nog geen (optische) beveiliging aanwezig om vast te stellen of de trekker achteruit kan rijden of niet.

De trekker en de hardware zijn ook nog niet CE gecertificeerd, en werken daarom nog in een prototype testsituatie. Meer onderzoek naar veiligheid rondom het voertuig zijn nog nodig om het juiste type sensor te kiezen en CE certificering mogelijk te maken.

Correctiesignaal RTK-GPS

Voor het autonoom laten rijden van de trekker-spuitscombinatie wordt gebruik gemaakt van het RTK-GPS correctiesignaal wat via een mobiele internet verbinding wordt ontvangen. De mobiele internet verbinding is een 3G verbinding waarvoor een abonnement is afgesloten bij MoveRTK. Bij het abonnement is ook een data-only SIM kaart inbegrepen. De oorspronkelijke 3G had een transmissiesnelheid van 2 Mbit/s (0,25 Mbyte/s) als men stilstaat en 384 Kbit/s (48 Kbyte/s) bij beweging door bijvoorbeeld rijden met een trekker. Opwaardering van het 3G netwerk naar 3.9G heeft geleid tot een transmissiesnelheid van 300 Mbit/s (37,5 Mbyte/s).

Uit metingen blijkt dat met het 3G mobiel internet abonnement van MoveRTK wat nu gebruikt wordt, een transmissiesnelheid wordt bereikt van 14,9 kB/s download en 6,7 kB/s upload. De test is in Geldermalsen en Cuijk in de open buitenlucht uitgevoerd; er was een goede signaalsterkte. Voor de toepassing van het leveren van een correctiesignaal is de transmissiesnelheid voldoende. Het abonnement is echter ook bedoeld voor remote support, waarbij het een optie zou moeten zijn voor het nagenoeg real time meekijken met de actie die uitgevoerd wordt door de autonome trekker en de spuit. Ook zal het 3G netwerk gebruikt gaan worden voor het uitvoeren van software updates van de aansturing van de trekker en de spuit. Voor beide toepassingen is de transmissiesnelheid veel te laag om tot een werkbare situatie te komen. Overleg met MoveRTK is in gang gezet om de transmissiesnelheid van de mobiel internet verbinding te verbeteren en tot de afgesproken doorvoersnelheid te komen.

Afwijkingen van het rechte pad

Voor het 'teachen' van het systeem moet het gehele parcours over een perceel afgelegd worden. Dit is inclusief de rechte paden tussen de bedden met aardbeienplanten in. Deze handeling is afwijkend van een systeem waarbij eerst een A-B lijn wordt uitgezet aan de hand waarvan het navigatiesysteem een rechte lijn uitzet en vervolgens hierover de trekker stuurt. Er van uit gaande dat de bedden met aardbeien (kaars)recht zijn geplant en over het perceel evenwijdig aan elkaar liggen dan zou de A-B lijn 'uitgezet' kunnen worden bij het bespuiten van het eerste bed. Wanneer door de bestuurder niet (kaars) recht is gereden, kan dit softwarematig aangepast worden. Wanneer voldaan wordt aan de eerder beschreven situatie (recht geplante bedden en evenwijdig aan elkaar) kan softwarematig berekend worden waar het volgende bed zich bevindt en waar welke lijnen zich bevinden t.o.v. de A-B lijn. De afstand tussen deze lijnen is afhankelijk van de werkbreedte van de achterhangende machine.

2.1.4 Conclusie

De implementatie van het teach & playback systeem op de Boomer tractor is succesvol uitgevoerd. Verschillende onderdelen voor meten van de toestand van de tractor zijn vervangen en aangepast, tevens zijn onderdelen voor de actualisatie, het besturen van de tractor toegevoegd. Dit heeft ertoe geleid dat de tractor nu nauwkeurig zijn route kan afleggen nadat deze in de teach modus is ingeleerd. De tractor heeft in autonome modus afwijking loodrecht ten opzichte van de geplande route tussen 0 en 4.5 cm links en rechts van de route. Hiermee is de doelstelling van dit deel van het PPL project bereikt.

2.2 Verbreding basis onder autonome navigatie – de autonome Kubota RTV

2.2.1 Uitgangssituatie

Het bedrijf van den Borne aardappelen in Reusel (Noord-Brabant) is een akkerbouwbedrijf wat zich gespecialiseerd heeft in de teelt van aardappelen. De aardappelen worden zowel op eigen grond als ook op ruilvercelen in de omgeving. De gewassen worden verbouwd op circa 140 percelen met een gemiddelde grootte van 3 hectare. De percelen zijn gronden die bestaan uit veldpodzolgrond welke leemarm dan wel zwak lemig zijn en bestaan uit fijn zand. Door het profiel hebben deze gronden zowel problemen met wateroverlast als met verdroging. Daarom wordt ca. 50% van het areaal beregend.

Om voor het bemesten en de berekening meer precieze kennis over de percelen te verkrijgen, wordt door van den Borne een EM38 MK2 sensor gebruikt. Deze sensor wordt met een Kubota RTV 900 universeel voertuig (Figuur 12) over het perceel voortbewogen.



Figuur 12. Voor- en achterzijde van de Kubota RTV900 universeel voertuig die gebruikt wordt voor het voorttrekken van de EM38 sensor.

Het universele voertuig heeft 4-wielaandrijving en een 3-cilinder watergekoelde Kubota dieselmotor van 898 cc die 16,1 kW (21,9 pk) levert. De aandrijving wordt verzorgd door een variabele hydrostatische transmissie met 3 groepen (HI-MED-LOW) vooruit en achteruit. De besturing is bekrachtigd. Het voertuig heeft een totaalgewicht van 925 kg (inclusief belading van max 500 kg) en haalt een snelheid van ca. 40 km/h op 25x10-12 HDWS 6 ply banden. Hoogste punt is het dak wat bovenop de standaard gemonteerde rolbeugel zit. De spoorbreedte is voor 1,15 m en achter 1,18 m.

Voor het precies scannen van de bodemeigenschappen dienen de rijsporen recht en evenwijdig aan elkaar te liggen. Voor dit recht rijden en het op de juiste positie rijden is een Reichard stuurventiel en besturing opgebouwd in 2012. Met het opgebouwde systeem uit 2012 is gps data verzameld om te visualiseren waar het voertuig heeft gereden. Aan deze gps data is de data gekoppeld die met de EM38 sensor is gelogd tijdens het rijden. Van de mogelijkheid om met het Reichard systeem het voertuig zelfstandig recht te laten rijden is geen gebruik gemaakt omdat de olie van het stuursysteem te heet werd door het stuurventiel, dit was een groot probleempunt in 2012.

2.2.2 Stappen in de tijd

Bij aanvang van het project "Verbreding basis onder autonome navigatie" was het alleen mogelijk om gps data te loggen en dit te koppelen met de data die verkregen wordt van de EM38 sensor. Op deze wijze kunnen de bodemeigenschappen plaats specifiek gevisualiseerd worden. Doel van het project is dat de Kubota RTV900 geheel autonoom over een perceel kan rijden. Het verplaatsen van het voertuig van perceel naar perceel wordt door een bestuurder gedaan. Voor het autonoom laten rijden zijn, t.o.v. de versie bij aanvang van het project, onderdelen gewijzigd en opgebouwd. Het systeem voor autonome navigatie met het Kubota universele voertuig over het perceel vertoont een grote analogie aan het systeem van de Boomer.

Wijziging en opbouw

Ten opzichte van de versie van het voertuig in 2012 is de Reichard stuurklep voor de automatische besturing van het voertuig gewijzigd. Deze zorgde voor een te hoge temperatuur van de besturingsolie en is daarom vervangen door een Sauer-Danfoss PGV32 ventiel (Figuur 13). Dit is een modulair opgebouwd load-sensing ventiel en dat met een Steering Controller geschikt is gemaakt voor CAN-BUS besturing. Het hydraulisch ventiel is samen met een prioriteitsventiel en wisselkleppen onder de motorkap van de Kubota RTV900 weggewerkt.



Figuur 13. Hydraulisch ventiel, een prioriteitsventiel en wisselkleppen voor de besturing van het universeel voertuig.

Opgebouwd is een navigatiecomputer met daarin RTK-GPS, een 3G GSM modem en voor de bediening een onder daglicht goed afleesbaar scherm/touchscreen (Figuur 14). De communicatie tussen de verschillende modules verloopt via een CAN BUS (voertuig) en RS232 (sensor) poorten. Onder de motorkap zijn gemonteerd de verschillende modules voor het rijden, het sturen, de veiligheid en voor het corrigeren van het RTK-GPS signaal een IMU (Inertial Measurement Unit module; Achten, 2012).



Figuur 14. Touchscreen met grafische 3D real time weergave parallel tracking.

De Steering & Transmission Control Unit (STCU) bestuurt het stuursysteem via het PVG32 ventiel. Gelijktijdig wordt ook door de druksensor de druk in de stuurleiding gemeten. Hiermee wordt gedetecteerd of er handmatig gestuurd wordt. De STCU leest ook de stuurhoeksensor in van waaruit de wielen recht, scherper of minder scherp sturend gezet moeten worden. Voor het deel transmission van de control unit wordt de rijsnelheid ingelezen via de sensor op de aandrijftras (Figuur 15). Voor het langzamer of sneller laten rijden van het universele voertuig wordt een actuator aangestuurd die is gekoppeld aan het gas-/rijpedaal. Het universele voertuig heeft, naast de variabele hydrostatische transmissie, 3 groepen (HI-MED-LOW) vooruit en achteruit. Bij het scannen hoeft niet van groep gewisseld te worden en dus wordt de rijsnelheid alleen gestuurd door verandering van de stand van de hydrostatische transmissie. Uit veiligheidsoverwegingen wordt met een sensor wel gecontroleerd of de groepen versnellingsbak in de juiste groep staat voordat de functie autonoom rijden geactiveerd kan worden. Ook wordt gedetecteerd of het voertuig in de achteruit geschakeld is (Figuur 16). Hiermee wordt voorkomen dat het voertuig over de aan de trekhaak meeslepende EM38 sensor wordt gereden en beschadigd kan raken.



Figuur 15. Sensor voor het meten van het toerental van de aandrijftras naar de wielen van waaruit de rijsnelheid berekend kan worden.



Figuur 16. Inductieve naderingsschakelaar voor detecteren van een eventueel ingeschakelde achteruit versnelling.

Met de Safety Control Module wordt de veiligheid bewaakt en in geval van een hard stop de brandstoftoevoer afgesloten worden. De Safety Control Module werkt analoog aan het systeem van de New Holland Boomer autonome trekker. Ook bij de Kubota moet het voertuig zich binnen 20 cm vanaf de vooraf berekende route bevinden en moet zich binnen 10 graden van de rijrichting bevinden. Tijdens het opstarten van de computer wordt de communicatie met de modules tot stand gebracht en het systeem geïnitieerd. Na het doorlopen van het opstartmenu voor het autonoom laten rijden kan de bestuurder uitstappen en op veilige afstand met de afstandsbediening het rijden starten. Met de afstandsbediening kan eveneens een pauze ingelast worden en de pauze weer opgeheven worden. Wanneer de noodknop op de afstandsbediening wordt geactiveerd, wordt een harde stop uitgevoerd. Hierbij wordt direct de brandstoftoevoer naar de motor stop gezet waardoor de rijfunctie stopt. Om de betrouwbaarheid van het ontvangen van het signaal van de afstandsbediening zo hoog mogelijk te hebben is de ontvanger van het signaal boven aan de dakrand van de cabine gemonteerd (Figuur 17).



Figuur 17. Ontvanger voor de draadloze noodstop boven aan de dakrand van de cabine.

Scannen

Bij het scannen wordt op een spoorafstand van 5 meter gereden en liggen de sporen parallel aan elkaar. De EM38 sensor geeft ca. 10 scans per seconde. Bij een vereiste van 1 scan per meter kan een rij snelheid behaald worden van 36 km/h. Deze rij snelheid is op bouwland niet realistisch. Omdat bij een lagere rij snelheid de hoeveelheid data per hectare onwerkbaar wordt, en wat de gestelde precisie betreft ook niet nodig is, wordt nu bij het dataloggen van de EM38 elke meter een scan vastgelegd in een kommagescheiden tekst bestand (*.csv bestand). Bij een spoorafstand van 5 m is dit dus een scan voor elke 5 m² en geeft dan 2000 scans per ha. Het aantal scans is op deze wijze onafhankelijk van de rij snelheid. In de 'oude' situatie werd tijdens het scannen, afhankelijk van de vlakheid van het perceel, tot ca. 18 km/h gereden. Uit veiligheidsoverwegingen wordt de rij snelheid in de autonome modus tijdens het scannen begrensd tot 6 km/h.

De resultaten van het scannen kunnen nog niet (real time) op afstand gecontroleerd worden. Uit eerdere ervaringen blijkt dat dit wel noodzakelijk is om voldoende betrouwbare kaarten van het bodemprofiel te kunnen weergeven. Ondanks dat het voertuig autonoom over het perceel kan rijden zal voorlopig een operator op het universele voertuig meerijden om de gelogde data van de EM38 sensor plaats specifiek te kunnen beoordelen. Voor dit beoordelen is de 3D weergave op het touchscreen uitgebreid met een weergave van de EM38 data gekoppeld aan de GPS

coördinaten (Figuur 18). Hierbij wordt zowel een weergave gepresenteerd per rijbaan over het perceel als ook de digitale waarde die op dat moment op het betreffende gps coördinaat wordt gemeten.



Figuur 18. Weergave van EM38 data gekoppeld aan de GPS data op het touchscreen voor het autonoom laten rijden van het Kubota universeel voertuig.

2.2.3 Conclusie en stand van zaken

Het systeem van het autonoom laten rijden van het voertuig over het veld voldoet aan de verwachtingen. Wanneer een controle van de EM38 data, bijvoorbeeld softwarematig en/of op afstand uitgevoerd kan worden, dan kan de combinatie van de Kubota RTV900 universeel voertuig met de sensor autonoom over het perceel rijden.

2.3 Finetuning autonome spuitmachine

2.3.1 Uitgangssituatie seizoen 2012

De sensorgestuurde SensiSpray Horti spuit bestaat uit een Hardi spuitboom met luchtondersteuning. De werkbreedte van 4,5 meter wordt bereikt met 3 spuitboomelementen van 1,5 meter elk. De middensectie van de spuitboom bevindt zich recht achter het voertuig. De twee andere secties zijn links en rechts van de middensectie gemonteerd. Voor aanvang van het spuiten dienen de buitenste secties uitgeklaapt te worden. Het uitklappen van de buitenste secties wordt met hydraulische cilinders gedaan waarvoor een stuurschuif handmatig bediend moet worden. Hardware matig is in de besturingskast van de SensiSpray wel rekening gehouden met het automatisch in en uitklappen van de spuitboomelementen. Softwarematig is geen rekening gehouden met deze automatisering. Per spuitboomelement van 1,5 m breedte wordt 1 bed bespoten. Voor het meten van de NDVI is op elke sectie een Greenseeker® gemonteerd en zijn voor het verspuiten van het gewasbeschermingsmiddel 6 Varioselekt®-dophouders gemonteerd. Twee van de zes dophouders bevinden zich boven een rijpad. De dophouders boven de rijpaden werden handmatig uitgezet. Per aardbeienbed zijn 2 rijen aardbeienplanten en waarop per rij aardbeien 2 Varioselekt®-dophouders staan gericht. In de dophouders zijn de doppen 0.075, 01 en 2 x 0.15 doppen gemonteerd.

Op de kopakkers mag en hoeft er niet gespoten te worden want daar staan geen planten. Het spuiten dient dus gestart en gestopt te worden aan het begin en einde van de bedden met aardbeiplanten. Het starten en stoppen wordt gedaan door de aftakas van de trekker aan of uit te zetten. Voor het aan en uitzetten wordt het stuursignaal gebruikt wat van fabriekswege uit al op de Boomer aanwezig is.

Het roeren van de tankinhoud wordt, door het aan en uitzetten van de aftakas, alleen gedaan wanneer gespoten wordt. Omdat de pomp gebruikt wordt voor het verspuiten van de vloeistof en het roeren van de tankinhoud, is de roercapaciteit dus afhankelijk van de hoeveelheid vloeistof die op dat moment verspoten wordt.

Het inkomende signaal van de GreenSeeker® en het signaal van de rijsnelheid wordt verwerkt binnen een rekenregel. Met de uitkomst van de rekenregel worden de Varioselekt® dophouders aangestuurd.

Voor controle van het spuitproces en het (visueel) weer kunnen geven van de stand van het gewas en de resultaten van het spuitproces worden diverse parameters gelogd en geanalyseerd.

2.3.2 Stappen in de tijd naar seizoen 2013

Volgens algemeen landbouwkundig gebruik moet het roeren van de tankinhoud van de spuit plaats vinden vanaf het vullen van de tank tot dat alle vloeistof verspoten is. Dit roeren dient dus te geschieden tijdens transport van de vulplaats naar de plaats van spuiten en tijdens het spuitproces zelf. Het roeren is om ontmenging te voorkomen. Ontmenging kan zijn de vorming van vlokken of het uitzakken naar de bodem van de tank. In een 'normaal' spuitproces wordt, wanneer niet gespoten wordt, de volledige pompcapaciteit ingezet voor het roerwerk. Tijdens het spuitproces wordt de 'overcapaciteit' van de pomp gebruikt. Overcapaciteit is de pompcapaciteit min het totaal van de grootste dopafgifte bij de doppen behorende hoogste spuitdruk. Wanneer de aftakas is uitgeschakeld, wordt dus niet geroerd.

De norm voor het SKL goedgekeurd krijgen van een spuit is alleen van kracht wanneer er gespoten wordt. Deze norm is:

- Bij aanwezigheid van alleen een hydraulische roerinrichting is de roercapaciteit onvoldoende als de voor de roering beschikbare capaciteit van de pomp in l/min minder is dan 5 % van de nominale tankinhoud.
- Bij aanwezigheid van een hydraulische roerinrichting plus een injector of een mechanisch roerwerk is de roercapaciteit in l/min onvoldoende als de beschikbare hydraulische roercapaciteit van de pomp minder is dan 2,5 % van de nominale tankinhoud, gemeten bij uitgeschakelde injector.
- Bij aanwezigheid van alleen een mechanisch roerwerk is de roercapaciteit in l/min onvoldoende als op basis van door de opdrachtgever aangeleverde documentatie kan worden vastgesteld dat de waterverplaatsing (l/min) van het mechanische roerwerk kleiner is dan 5 % van de nominale tankinhoud.

Bij de SensiSpray Horti werd, bij aanvang van het project "Finetuning", tijdens het draaien op de kopakker de aftakas uitgeschakeld om niet te spuiten en was er dus geen roering. Dit gaat in tegen het landbouwkundig gebruik van gewasbeschermingsmiddelen. Om dit te ondervangen is het start en stop signaal van de aftakas en het stuursignaal voor het aan- uitzetten van de VarioSelect® doppen gekoppeld aan de navigatiecomputer. Bij aanvang van het vullen van de tank met middel wordt de aftakas ingeschakeld en gaat de pomp draaien. En dus wordt er geroerd. Tijdens transport naar het veld en tijdens het spuitproces kan de pomp blijven draaien en blijft het roeren geactiveerd. Zodra de GreenSeeker® bladmassa in de plantenbedden waarnemen, worden de doppen geactiveerd. De roercapaciteit zal hierdoor afnemen maar blijft binnen de norm die voor een SKL goedgekeurd spuitmachine geldt.

Biomassa

Het biomassa afhankelijk spuiten wordt bereikt door het meten van de NDVI met de Geenseeker®. Het resultaat van de NDVI meting wordt door een rekenregel vertaald naar het biomassa afhankelijk gedoseerd spuiten. Uit uitgevoerde depositiemetingen blijkt dat voldoende (beschermend) middel terecht komt op de plant om deze te beschermen cq de aantasting te bestrijden (Michielsen, 2012). Met de NDVI meting wordt bereikt dat op planten met meer bladmassa ook meer middel wordt gespoten dan bij kleine planten (Michielsen, 2012) en er niet op kale grond gespoten wordt. Een besparing van 32% is hierbij mogelijk. Voor dit onderzoek is met de SensiSpray Horti gespoten met een kleurstof. De kleurstof betreft Briljant Sulfo Flavine (met toevoeging van Agral LN) waarmee op

laboratoriumniveau gemeten kan worden of de juiste hoeveelheid middel op de juiste plaats wordt gedoseerd. De rekenregel voor het aansturen van de spuitdoppen is in de verslagperiode niet gewijzigd.

Doseerkaarten

In de onderzoeksoopdracht is opgenomen dat verkregen data van de SensiSpray Horti gebruikt moet kunnen worden voor de bedrijfsadministratie en voor visuele weergave van 'as applied' doseerkaarten. In de huidige situatie wordt data gelogd en worden de GPS coördinaten (lat/lon, RD), de rijsnelheid (m/s), de verspoten hoeveelheid vloeistof (l/min) en de spuitdruk (bar), de luchtdruk van de luchtondersteuning (bar), de ventilatorsnelheid van de luchtondersteuning (rpm), welk model van de rekenregel wordt gebruikt (#), welke spuitdop binnen de dophouders er als "hoofddop" is geselecteerd (#), welke sectie op dat moment is ingeschakeld (actief is). Voor elke sectie wordt vervolgens gelogd met welke dop van de dophouder op dat moment wordt gespoten, de NDVI (#), de hoeveelheid vegetatie (#), de hoeveelheid middel wat verspoten zou moeten worden (liter per ha) en de hoeveelheid middel wat uiteindelijk is verspoten (l/ha).

De gelogde data kan, via een USB stick, overgebracht worden naar een andere computer waarop bijvoorbeeld de bedrijfsadministratie wordt bijgehouden. Naast de USB aansluiting wordt de data ook via een seriële poort uitgestuurd, waardoor deze met een andere hardware oplossing realtime gestreamd kan worden naar een webserver met webservice. Op deze wijze is de data rechtstreeks te gebruiken voor een managementsysteem of voor visualisering.

Via een USB stick is diverse gelogde data verkregen van een teler. De betreffende data bestaat uit bespuitingen die uitgevoerd zijn in de periode van mei tot en met september in 2011 en 2012 in een gewas aardbeien. In Figuur 19, Figuur 20 en Figuur 21 wordt van een perceel aardbeien, die op 19 juli 2011 bespoten is, respectievelijk weergegeven de NDVI, de vegetation index en de dosis gewasbeschermingsmiddel (in l/ha) wat verspoten is op de planten. De vegetation index is een inverse ratio, red/nir reflectie die gebruikt wordt om vegetatie indices van dezelfde datum en dezelfde tijd met elkaar te kunnen vergelijken. De gewasbeschermingsmiddelen die werden gespoten zijn een insecticide (Decis EC; werkzame stof deltamethrin) en 2 fungiciden (Topaz 100 EC; werkzame stof penconazool vlb en Switch; werkzame stoffen cyprodinil en fludioxonil).



Figuur 19. Voorbeeld van de variatie in de NDVI van de GreenSeeker® sensor opgebouwd op sectie 2 (middelste sectie van de SensiSpray Horti spuit) voor een perceel aardbeien op 19 juli 2011.



Figuur 20. Voorbeeld van de variatie in de vegetatie index (IRVI) gemeten met de GreenSeeker® sensor opgebouwd op sectie 2 (middelste sectie van de SensiSpray Horti spuit) voor een perceel aardbeien op 19 juli 2011.



Figuur 21. Voorbeeld van de variatie in de actuele dosis beschermingsmiddel wat wordt gespoten n.a.v. de in Figuur 19 weergegeven variatie in de NDVI onder sectie 2 (middelste sectie van de SensiSpray Horti spuit) voor een perceel aardbeien op 19 juli 2011.

2.3.3 Stand van zaken voor seizoen 2013

Visualisatie

De SensiSpray Horti heeft een boombreedte van 4,5 die bestaat uit 3 secties. De VarioSelect® spuitdoppen op elke sectie worden aangestuurd door één GreenSeeker® per sectie. Bij elke regel uitvoerdata van de drie GreenSeeker® sensoren, en daaraan gekoppeld vegetatie, target en actuele dosis per sectie, wordt van 1 GPS ontvanger de coördinaten in Lat/Lon en RD weergegeven. Voor het weergegeven van data van een spuitboombreedte dienen meer GPS coördinaten bekend te zijn waarbij de voorkeur uitgaat naar het coördinaat van elke GreenSeeker®. Hiermee kan van elke werkgang de drie bespoten bedden gelijktijdig weergegeven worden en dus geanalyseerd worden waarmee de variatie in en tussen bedden vergeleken kan worden. Het bepalen van de locatie van de drie onafhankelijke GreenSeeker® sensoren is, ten opzichte van de GPS ontvanger die al aanwezig is op de spuit, een rekenkundige toevoeging. De berekening kan gelijktijdig met het loggen van de data plaatsvinden en dus ook opgeslagen worden waardoor dit niet een aparte bewerking hoeft te zijn tussen het binnen halen van data en het visualiseren daarvan.

Spuitbomen in en uitklappen

De spuitboomsecties worden met behulp van hydraulische cilinders uit- of ingeklapt (Figuur 22). Het bedienen van de stuurschuif voor het in of uit laten gaan van de hydraulische cilinders vindt handmatig plaats. De besturingskast in de cabine van de Boomer is hardwarematig voorbereid voor automatisering van het uitklappen van de spuitboomsecties. Voor het volledig automatisch in- en uitklappen van de secties dient er een bekabeling aangebracht te worden tussen de bedieningskast en de stuurschuif, de handmatig bediende stuurschuif vervangen te worden door een elektrisch bediende en de software aangepast te worden.



Figuur 22. Hydraulische cilinder voor het uit- en inklappen van de spuitboomsectie.

Veiligheid

Bij het volledig autonoom laten rijden wordt alleen supervisie op zowel de trekker als de spuitmachine uitgevoerd 'op afstand'. Op dit moment worden er geen controles uitgevoerd op goede werking van de machine en op obstakels die wel of niet plotseling aanwezig zijn.

Controles op goede werking van de machine kan bestaan uit sensoren die meten of:

- de spuitboom (secties) goed zijn uitgekapt voor een goede bespuiting of goed zijn ingeklapt voor veilig transport.
- er überhaupt een uitgaande flow van de spuit is waaruit blijkt dat er wel gespoten wordt.
- het vloeistofniveau in de tank niet sneller zakt dan de vermindering van de vloeistofvoorraad die berekend wordt en/of gebruikt wordt voor het spuiten. Hiermee kan worden bepaald of er geen lekkage optreedt of ongewenste plekken bespoten worden.

Een aanbeveling is om voorop de trekker een (optische) beveiliging te hebben die ingrijpt in de voortbeweging van de trekker als onverwachte, vooraf niet waargenomen, obstakels binnen het 'gezichtsveld' van de machine komen. Indien deze (optische) beveiliging het gebied alleen ter breedte van de trekker scant, is er geen beveiliging in de breedte van de spuitbomen. Door de spuitbomen kan dan het onverwachte object beschadigd raken of worden de spuitbomen beschadigd door het object. Omdat de werkbreedte van de spuit beperkt is kan een (optische) beveiliging voorop de trekker ook voldoende zijn voor de hele breedte van de machine in werkstand.

2.3.4 Conclusie

De aanpassingen aan de SensiSpray Horti spuitmachine zijn succesvol uitgevoerd. De spuitmachine heeft naar verwachting nu een betere performance tijdens autonoom gebruik doordat roering van de spuitvloeistof continu gewaarborgd is. De sensordata en data over de afgegeven hoeveelheid spuitvloeistof wordt gelogd in datafiles. Deze files kunnen worden ingelezen via Akkerweb.nl, daarmee is een goede koppeling gerealiseerd van sensordata naar bedrijfsmanagement systeem. Akkerweb is een open source platform op internet. Met het platform kan GEO-informatie van bodem en gewas gevisualiseerd worden en kunnen taakkaarten gemaakt worden.

3. Conclusie

De implementatie van het teach & playback systeem op de Boomer tractor is succesvol uitgevoerd. Verschillende onderdelen voor meten van de toestand van de tractor zijn vervangen en aangepast. Tevens zijn onderdelen voor de actuatie, het besturen van de tractor toegevoegd. Dit heeft ertoe geleid dat de tractor nu nauwkeurig zijn route kan afleggen nadat deze in de teach modus is ingeleerd. De tractor heeft in autonome modus afwijking loodrecht ten opzichte van de geplande route tussen 0 en 4.5 cm links en rechts van de route. Hiermee is de doelstelling van dit deel van het PPL project bereikt. De huidige beveiliging bestaat alleen uit het stilzetten van de trekker wanneer deze zich buiten de geplande route gaat begeven en een ingrijpen door iemand die de noodknop op de trekker of de afstandsbediening actueert. Er is op de trekker geen optische beveiliging aanwezig die ingrijpt wanneer een onveilige situatie niet is waargenomen door de operator. De trekker en de hardware zijn ook nog niet CE gecertificeerd, en werken daarom nog in een prototype testsituatie. Meer onderzoek naar veiligheid rondom het voertuig zijn nog nodig om het juiste type sensor te kiezen en CE certificering mogelijk te maken. De huidige 3G mobiele internet verbinding wordt alleen gebruikt voor het RTK-GPS correctiesignaal. De transmissiesnelheid van dit signaal is (veel) te laag voor remote support. Met remote support kan nagenoeg real time op afstand meegekeken worden naar de goede werking van de machine en updates uitgevoerd worden van de aansturing van de trekker en de spuit. In de teach modus van het besturingssysteem dient redelijk nauwkeurig tussen de bedden door gereden te worden en de bochten op de juiste wijze genomen te worden om de afwijkingen in de playback mode binnen de gestelde grenzen te houden. Wanneer de bedden met aardbeien precies zijn geplant, zou tijdens de bespuiting van de eerste werkgang een A-B lijn uitgezet kunnen worden die ook geldig is voor de bedden op de rest van het perceel. Hiermee wordt een eventuele niet gewenste kromming, die is ontstaan in de teach modus, weer rechtgetrokken. Met de A-B punten die zijn gegenereerd tijdens de bespuiting van de eerste werkgang kan ook nadien de A-B lijn van de eerste werkgang berekend worden voor de volgende uit te voeren bespuitingen.

Het systeem van het autonoom laten rijden van het Kubota universele voertuig over het veld voldoet ook aan de verwachtingen. Wanneer een controle van de EM38 data, bijvoorbeeld softwarematig en/of op afstand uitgevoerd kan worden, dan kan de combinatie van de Kubota RTV900 universeel voertuig met de sensor autonoom over het perceel rijden.

De aanpassingen aan de SensiSpray Horti spuitmachine zijn succesvol uitgevoerd. De spuitmachine heeft naar verwachting nu een betere performance tijdens autonoom gebruik doordat roering van de spuitvloeistof continu gewaarborgd is. De sensordata en data over de afgegeven hoeveelheid spuitvloeistof wordt gelogd in datafiles. Deze files kunnen worden ingelezen via Akkerweb.nl, daarmee is een goede koppeling gerealiseerd van sensordata naar bedrijfsmanagement systeem.

Voor de analyse en visualisatie van de drie onafhankelijke bedden die per werkgang worden bespoten, zou een rekenkundige aanvulling nodig zijn. Hiermee kan per GPS coördinaat en per bed de NDVI en de verspoten hoeveelheid middel vergeleken worden. Hardware matige aanpassingen zijn hiervoor niet nodig. Voor een volledige autonome uitvoering van de SensiSpray Horti zijn zowel software matige als hardware matige aanpassingen nodig. Op deze wijze kunnen ook de spuitbomen zonder tussenkomst van een handmatige actie, in en uitgeklapt worden. Bij uitgeklapte spuitbomen is de totale breedte van de trekker-spuitcombinatie breder dan alleen de breedte van de trekker. Naast een (optische) beveiliging van de trekker zou, om de kans op calamiteiten te minimaliseren, ook de spuitbomen (optisch) beveiligd moeten worden. Voor controle op een goede werking van de machine is tot nu toe geen enkele beveiliging aanwezig. Deze controle kan bestaan uit het meten of de spuitbomen goed zijn uitgeklapt, er een uitgaande flow van de spuitmachine is en of er geen lekkage van de machine is.

De basis is gelegd om met autonome voertuigen bewerkingen uit te voeren op landbouwpercelen. Toezicht is nog nodig op de machines omdat veiligheidssystemen nog ontbreken. In vervolgstudies is nadrukkelijk aandacht voor veiligheidssystemen nodig zodat de machines ook CE gecertificeerd verkocht kunnen worden. Daarmee worden de machines breder inzetbaar en kan de ontwikkelde kennis ingezet worden voor de gehele landbouwsector.

Literatuur

Achten, V.T.J.M., 2012.

ISOBUS Inertial Measurement Unit. Real-time 3D oriëntatiebepaling ten behoeve van GPS besturing.
Programma Precisielandbouw, p. 15.

Kempenaar, Corné, Jean Marie Michielsen, Ard Nieuwenhuizen, Hanja Slabbekoorn, Jan van de Zande, 2012.

Ontwikkeling van een autonome precisiespuit voor de aardbeienteelten in de volle grond, Fase 1 en 2: ontwerp en bouw van prototype, WUR – PRI Rapport, p. 24.

Michielsen, J.M.G.P., A.T. Nieuwenhuizen, J.C. van de Zande, P. van Velde & H. Stallinga, 2012.

Gewasafhankelijk spuiten, SensiSpray Horti in aardbeien, WUR – PRI Rapport 490, p. 72.

Probotiq, 2011.

Driverless Mowing, <http://www.probotiq.com/?p=311>

